

# Messungen mit dem vektoriellen Netzwerkanalysator (VNA, VNWA)

1. Vorstellung der Funktionsweise

2. Praktische Messungen

Widerstände

Kondensatoren

Induktivitäten

$A_L$ -Wert

Antenne

Leitungsdämpfung

Filter

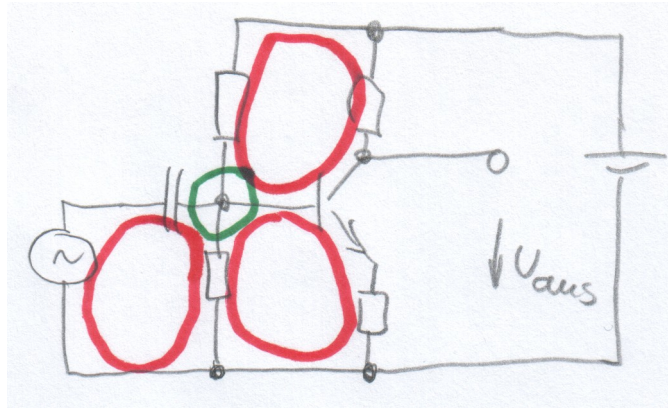
Leitungsfiler

Filter mit Bauelementen

# Funktionsweise des vektoriellen Netzwerkanalysators

Begriffsbestimmung:

Analysator: —————> Vermesser  
Netzwerk: —————> Schaltung



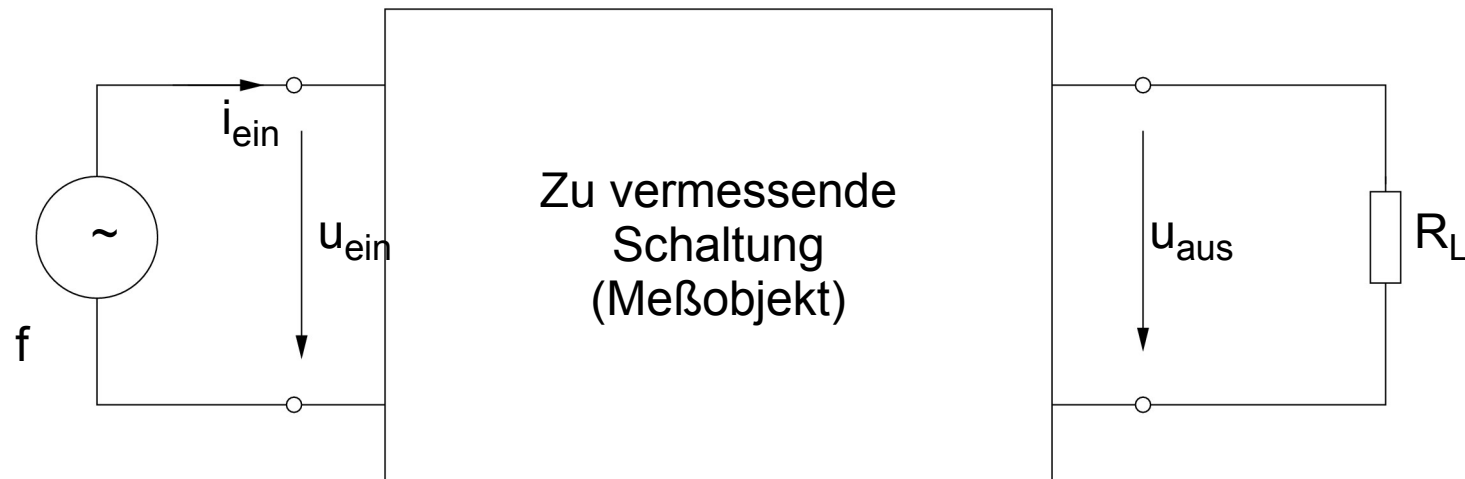
Vektor: —————> Begriff aus der Mathematik

Wenn die Beschreibung eines Objekts mehrere Größen erfordert,  
z.B. die Größe eines DIN A4-Blattes die Höhe und die Breite  
Höhe, Breite = 29,71  
dann ist das Zahlenpaar ein Vektor

Bei uns wird die Phasenlage zusätzlich berücksichtigt, weiteres später

Also: Ein VNA ist ein Phasenlage berücksichtigender Schaltungsvermesser

# Aufbau eines VNAs



Der VNA misst mit einem in der Frequenz einstellbaren Generator, der die Eingangsspannung  $u_{\text{ein}}$  des Meßobjekts zur Verfügung stellt, den Eingangsstrom  $i_{\text{ein}}$  und gegebenenfalls die Ausgangsspannung  $u_{\text{aus}}$ . Das Verhältnis  $u_{\text{ein}}/i_{\text{ein}}$  ist der Eingangswiderstand  $R_{\text{ein}}$  und das Verhältnis  $u_{\text{aus}}/u_{\text{ein}}$  ist die Spannungsverstärkung  $V$  des Meßobjekts.

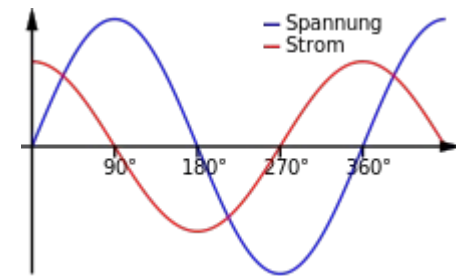
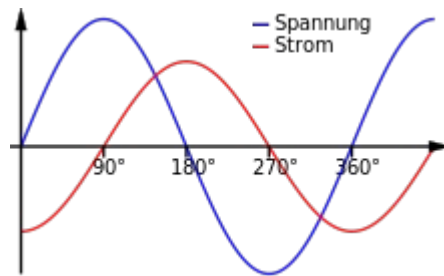
Wir messen also nur zwei Größen:      den Eingangswiderstand und  
die Spannungsverstärkung

# Impedanzen

In der Wechselstromtechnik gibt es nicht nur ohmsche Widerstände (das sind die, die warm werden wenn Strom durchfließt), sondern auch sogenannte Blindwiderstände die keine Leistung aufnehmen, sich aber sonst wie ohmsche Widerstände verhalten. Von den Blindwiderständen gibt es zwei Arten, nämlich Induktivitäten und Kapazitäten.

Wie kann man die verschiedenen Widerstände unterscheiden?

- ganz einfach, man misst z.B. mit einem Oszilloskop die Phasenverschiebung zwischen Strom und Spannung:



Bei Induktivitäten eilt die Spannung dem Strom um  $90^\circ$  voraus und bei Kapazitäten ist es umgekehrt, der Strom eilt der Spannung um eine viertel Periodendauer voraus.

Eine Zusammenschaltung von einem ohmschen und einem Blindwiderstand hat dann also eine Phasenverschiebung, die zwischen  $-90^\circ$  und  $+90^\circ$  liegen muß.

Im allgemeinen liegen immer solche Zusammenschaltungen vor und deshalb haben sie einen eigenen Namen bekommen: Impedanzen

# vektorielle Größen

Wir haben gesehen, daß ein Widerstand im Allgemeinen immer aus einem ohmschen und einem Blindwiderstand besteht (jedes Stück Draht stellt eine Induktivität dar und jedes Paar Metallstücke einen Kondensator dar) und ist damit eine Impedanz.

Um die „Zusammensetzung“ (wieviel ohmscher und wieviel Blindanteil) einer Impedanz mathematisch zu beschreiben brauchen wir also zwei Zahlen, nämlich das Verhältnis von Spannung und Strom und die Phasenverschiebung zwischen Spannung und Strom. Dieses Zahlenpaar stellt mathematisch dann einen Vektor dar.

Auch bei der Spannungsverstärkung  $V = u_{\text{aus}}/u_{\text{ein}}$  haben wir eine Phasenverschiebung zwischen der Ausgangsspannung und der Eingangsspannung und deshalb muß die Spannungsverstärkung auch mit einem Zahlenpaar beschrieben werden.

Deshalb „vektorieller“ Netzwerkanalysator!

WICHTIG!:

Alle anderen Größen, die im Zusammenhang mit VNAs auftauchen wie S-Parameter, Reflexionsfaktor, Stehwellenverhältnis u.s.w. sind abgeleitete Größen und sind mit mehr oder weniger Mathematik (meist mehr) zu berechnen!

Beispiel Stehwellenverhältnis:

$$SWR = \frac{(z_r)^2 + (z_i)^2 + 1}{2 z_r}$$

# Besondere Probleme bei der HF-Meßtechnik

Wie oben schon erwähnt, stellt jedes Stück Draht eine Induktivität und jedes Paar Metallstücke einen Kondensator dar.

Wir können aber fast nie das Meßobjekt direkt an das Meßgerät anschließen, sondern müssen fast immer eine Leitung dazwischenschalten, die dann dem Meßobjekt eine Leitungsinduktivität und eine Leitungskapazität hinzufügt. Speziell bei höheren Frequenzen (oberhalb Kurzwelle) haben Leitungen auch eine nicht zu vernachlässigende Dämpfung!

Beispiel: 1m RG-58 hat eine Kapazität von ungefähr 100 pF.

Wie kann man das bei einer Messung berücksichtigen?

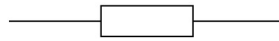
Dazu müssen sogenannte Kalibriermessungen vorgenommen werden:

Am Ende der Meßleitung, wo das Meßobjekt angeschlossen wird, schließen wir dem Meßgerät bekannte Impedanzen an, z.B. einen Leerlauf, einen Kurzschluß und einen 50  $\Omega$ -Widerstand.

Mit viel Mathematik kann das Meßgerät dann Ergebnisse anzeigen, als ob es direkt ohne Leitung am Meßobjekt angeschlossen wäre.

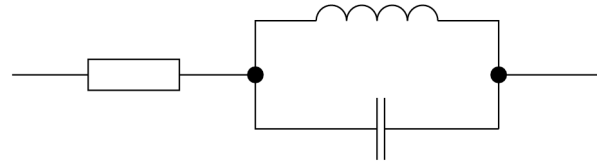
Ein VNA muß deshalb immer kalibriert werden!

# Widerstände, Kondensatoren

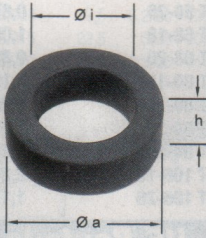


# Spulen, $A_L$ -Wert

Es gibt keine „perfekten“ Spulen, sie sind immer durch parasitäre Windungskapazitäten im nutzbaren Frequenzbereich begrenzt und haben auch immer Verluste.



Um Spulen z.B. mit Ringkernen einfach zu dimensionieren gibt der Hersteller den sogenannten  $A_L$ -Wert an. Dies ist die Induktivität einer einzelnen Windung.

<b>Ferrit-Ringe</b>					
Für Breitbandtransformatoren					
Material 43: hohe Güte 40 MHz bis 400 MHz					
Material 61: bis 200 MHz					
Material 63: bis 300 MHz					
Material 68: hohe Güte 80 MHz bis 180 MHz					
Material 77: 0,5 MHz bis 50 MHz					
					
Bestellnummer:		Ø a	Ø i	h	$A_L$ (nH)
FT 23-43	0,61	5,8	3,05	1,52	158
FT 23-61	0,61	5,8	3,05	1,52	25
FT 23-77	0,58	5,8	3,05	1,52	390
FT 37-43	0,67	9,5	4,75	3,18	350
FT 37-61	0,67	9,5	4,75	3,18	55
FT 37-77	0,67	9,5	4,75	3,18	880
FT 50-43	0,77	12,7	7,14	4,8	440
FT 50-61	0,77	12,7	7,14	4,8	59
FT 50-77	0,77	12,7	7,14	4,8	1100
FT 82-61	1,85	21	13,1	6,35	75
FT 82-77	1,80	21	13,1	6,35	1175
FT 114-43	2,50	29	19,05	7,5	510
FT 114-61	2,55	29	19,05	7,5	80
FT 114-77	2,50	29	19,05	7,5	1275
FT 140-43	4,80	35,6	22,7	12,7	885
FT 140-77	4,95	35,6	22,7	12,7	2250
FT 240-43	11,25	61	35,6	12,7	1075
FT 240-61	15,30	61	35,6	12,7	170
FT 240-77	13,95	61	35,6	12,7	2725
696 ☎ +49 (0)4422 955-333 📠 +49 (0)4422 955					



# Antennen-SWR, Leitungsdämpfung

# Filter

# Richtkoppler

# Verstärker